

Docket No.: K2020.0010/P010
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Hisataka Fujimaki et al.

Application No.: Not Yet Assigned

Filed: Concurrently Herewith

Art Unit: N/A

For: PARTICLE BEAM IRRADIATION
EQUIPMENT AND PARTICLE BEAM

IRRADIATION METHOD

Examiner: Not Yet Assigned

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

MS Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following
prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

| <u>Country</u> | <u>Application No.</u> | <u>Date</u> |
|----------------|------------------------|----------------|
| Japan | 2003-109062 | April 14, 2003 |

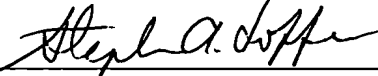
Application No.: Not Yet Assigned

Docket No.: K2020.0010/P010

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: April 13, 2004

Respectfully submitted,

By 

Stephen A. Soffen

Registration No.: 31,063

DICKSTEIN SHAPIRO MORIN &
OSHINSKY LLP

2101 L Street NW

Washington, DC 20037-1526

(202) 785-9700

Attorney for Applicant

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this office.

DATE OF APPLICATION: April 14, 2003
APPLICATION NO. 2003-109062
APPLICANT(S): HITACHI, LTD.

Dated this 23rd day of March, 2004

Yasuo Imai
Commissioner
PATENT OFFICE

Certificate No. 2004-3023911

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 4月14日

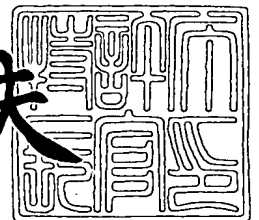
出願番号
Application Number: 特願2003-109062
[ST. 10/C]: [JP2003-109062]

出願人
Applicant(s): 株式会社日立製作所

2004年 3月23日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3023911

【書類名】 特許願

【整理番号】 JP4232

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 A61N 5/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内

【氏名】 藤巻 寿隆

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内

【氏名】 松田 浩二

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号
株式会社 日立製作所 原子力事業部内

【氏名】 柳澤 正樹

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号
株式会社 日立製作所 原子力事業部内

【氏名】 秋山 浩

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100077816

【弁理士】

【氏名又は名称】 春日 譲

【復代理人】

【識別番号】 100104503

【弁理士】

【氏名又は名称】 益田 博文

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 192936

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003101

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 粒子線照射装置及び荷電粒子ビームの照射方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子ビーム発生装置と、荷電粒子ビーム発生装置から出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置とを備え、

前記荷電粒子ビーム照射装置は、

前記荷電粒子ビームが通過する第 1 散乱体を備える第 1 散乱体装置と、

前記第 1 散乱体を通過した前記荷電粒子ビームが通過する複数の第 2 散乱体を備え、前記荷電粒子ビームの進行方向における異なる複数の位置のいずれかで前記荷電粒子ビームが通過する領域に、前記第 2 散乱体を位置させる第 2 散乱体装置とを有することを特徴とする粒子線照射装置。

【請求項 2】

荷電粒子ビーム発生装置と、荷電粒子ビーム発生装置から出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置とを備え、

前記荷電粒子ビーム照射装置は、前記荷電粒子ビームが通過する第 1 散乱体を備える第 1 散乱体装置と、前記第 1 散乱体を通過した前記荷電粒子ビームの通過領域に位置させる複数の第 2 散乱体を有する第 2 散乱体装置とを備え、

前記第 2 散乱体装置を制御することによって、前記複数の第 2 散乱体のうちの 1 つを、荷電粒子ビームの進行方向における異なる複数の位置のいずれかで前記通過領域に位置させる制御システムを備えることを特徴とする粒子線照射装置。

【請求項 3】

前記制御システムは治療計画情報に基づいて選択した前記位置に前記第 2 散乱体を位置させる請求項 2 記載の粒子線照射装置。

【請求項 4】

前記治療計画情報は照射野情報である請求項 3 記載の粒子線照射装置。

【請求項 5】

前記制御システムは他の治療計画情報に応じて選択した前記第 2 散乱体を、前記選定された位置に位置させる請求項 3 記載の粒子線照射装置。

【請求項 6】

前記他の治療計画情報はイオンビームのエネルギー情報である請求項 5 記載の粒子線照射装置。

【請求項 7】

荷電粒子ビーム発生装置と、荷電粒子ビーム発生装置から出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置とを備え、

前記荷電粒子ビーム照射装置は、前記荷電粒子ビームが通過する第 1 散乱体を備える第 1 散乱体装置と、前記荷電粒子ビームの進行方向で前記第 1 散乱体装置よりも下流側の第 1 位置に位置させる第 2 散乱体を有する上流第 2 散乱体装置と、前記荷電粒子ビームの進行方向で前記第 1 位置よりも下流側の第 2 位置に位置させる他の第 2 散乱体を有する下流第 2 散乱体装置とを備え、

前記上流第 2 散乱体装置及び前記下流第 2 散乱体装置のうちで選択された一方の第 2 散乱体装置を制御することによって、前記選択された第 2 散乱体装置に含まれる第 2 散乱体を、前記荷電粒子ビームの通過領域に位置させる制御システムを備えることを特徴とする粒子線照射装置。

【請求項 8】

前記制御システムは前記第 2 散乱体装置の選択を治療計画情報に基づいて行う請求項 7 記載の粒子線照射装置。

【請求項 9】

前記上流第 2 散乱体装置は前記第 2 散乱体を設置しこの第 2 散乱体を前記通過領域に位置させる第 1 テーブルを有し、前記下流第 2 散乱体装置は前記他の第 2 散乱体を設置しこの他の第 2 散乱体を前記通過領域に位置させる第 2 テーブルを有する請求項 7 記載の粒子線照射装置。

【請求項 10】

前記第 1 テーブルは複数の前記第 2 散乱体を設置し、前記第 2 テーブルは複数の前記他の第 2 散乱体を設置し、前記第 2 テーブルに設置された前記複数の他の第 2 散乱体は、前記第 1 テーブルに設置された前記複数の第 2 散乱体よりも、前記荷電粒子ビームの進行方向に直行する方向における、前記荷電粒子ビームの広がり度合いが小さい請求項 9 記載の粒子線照射装置。

【請求項 1 1】

前記第 1 テーブルを前記荷電粒子ビームの進行方向と直行する方向に移動させる第 1 テーブル移動装置と、前記第 2 テーブルを前記荷電粒子ビームの進行方向と直行する方向に移動させる第 2 テーブル移動装置とを備え、

前記制御システムは、前記選択された第 2 散乱体装置に含まれたテーブル移動装置を制御して該当するテーブルの移動を制御し、該当する第 2 散乱体を前記通過領域に位置させる請求項 9 または請求項 10 記載の粒子線照射装置。

【請求項 1 2】

荷電粒子ビーム発生装置と、荷電粒子ビーム発生装置から出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置とを備え、

前記荷電粒子ビーム照射装置は、

前記荷電粒子ビームが通過する第 1 散乱体と、

前記荷電粒子ビームの進行方向において前記第 1 散乱体の下流側に設けられ、第 2 散乱体が設けられた第 1 テーブルと、

前記荷電粒子ビーム進行方向において前記第 1 のテーブルの下流側に設けられ、前記第 2 散乱体よりも、前記荷電粒子ビームの進行方向に直行する方向における、前記荷電粒子ビームの広がり度合いが小さい他の第 2 散乱体が設けられた第 2 テーブルとを備えることを特徴とする粒子線照射装置。

【請求項 1 3】

前記第 1 散乱体は、前記荷電粒子ビーム照射装置内で前記荷電粒子ビーム進行方向において移動可能に設けられている請求項 1 2 記載の粒子線照射装置。

【請求項 1 4】

前記第 1 散乱体を前記荷電粒子ビーム進行方向に移動させる第 1 散乱体駆動装置と、この第 1 散乱体駆動装置を制御し、前記第 1 散乱体の移動量を制御する第 1 散乱体駆動制御装置とを備えた請求項 1 3 記載の粒子線照射装置。

【請求項 1 5】

前記第 1 テーブルは前記第 2 散乱体を、前記第 2 テーブルは前記他の第 2 散乱体を、前記荷電粒子ビームの通過領域に配置可能に構成されている請求項 1 2 記載の粒子線照射装置。

【請求項 16】

前記第 1 テーブルを前記荷電粒子ビームの進行方向と直行する方向に移動させる第 1 テーブル移動装置と、前記第 2 テーブルを前記荷電粒子ビームの進行方向と直行する方向に移動させる第 2 テーブル移動装置と、選択されたテーブルを移動させるテーブル駆動装置を制御し、前記テーブルの移動を制御するテーブル駆動制御装置とを備えた請求項 15 記載の粒子線照射装置。

【請求項 17】

荷電粒子ビーム発生装置と、荷電粒子ビーム発生装置から出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射する荷電粒子ビーム照射装置とを備え、

前記荷電粒子ビーム照射装置は、

前記荷電粒子ビームが通過する第 1 散乱体を備える第 1 散乱体装置と、

前記第 1 散乱体を通過した前記荷電粒子ビームの通過領域に位置させる複数の第 2 散乱体を備え、前記荷電粒子ビーム進行方向に移動可能に設けられた第 2 散乱体装置とを備えたことを特徴とする粒子線照射装置。

【請求項 18】

前記第 2 散乱体装置を前記荷電粒子ビーム進行方向に移動させる第 2 散乱体移動装置と、この第 2 散乱体移動装置を制御し、前記第 2 散乱体装置の移動量を制御する第 2 散乱体駆動制御装置とを備えた請求項 17 記載の粒子線照射装置。

【請求項 19】

前記第 1 散乱体装置は、前記荷電粒子ビーム進行方向において移動可能に設けられている請求項 1、請求項 2、請求項 7 及び請求項 17 のいずれかに記載の粒子線照射装置。

【請求項 20】

前記第 1 散乱体装置を前記荷電粒子ビーム進行方向に移動させる第 1 散乱体移動装置と、この第 1 散乱体移動装置を制御し、前記第 1 散乱体装置の移動量を制御する第 1 散乱体移動制御装置とを備えた請求項 19 記載の粒子線照射装置。

【請求項 21】

前記第 2 散乱体装置は、前記第 2 散乱体を前記荷電粒子の通過領域に位置させるテーブルと、前記テーブルを前記荷電粒子ビームの進行方向と直行する方向に

移動させるテーブル移動装置とを備えた請求項 1 7 記載の粒子線照射装置。

【請求項 2 2】

前記テーブル移動装置を制御し、前記テーブルの移動を制御するテーブル駆動制御装置とを備えた請求項 2 1 記載の粒子線照射装置。

【請求項 2 3】

第 1 散乱体を通過した荷電粒子ビームを通過させる第 2 散乱体を、前記荷電粒子ビームの進行方向における異なる複数の位置のうち選択された前記位置において前記荷電粒子ビームが通過する領域に位置させ、前記第 1 散乱体、及び前記位置に位置させた前記第 2 散乱体を通過した前記荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビームの照射方法。

【請求項 2 4】

前記第 1 散乱体を前記荷電粒子ビーム進行方向に移動させる請求項 2 3 記載の荷電粒子ビームの照射方法。

【請求項 2 5】

前記選択された位置への前記第 2 散乱体の配置は、前記第 2 散乱体を前記荷電粒子ビームの進行方法に移動させることによって行う請求項 2 3 記載の荷電粒子ビームの照射方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、粒子線照射装置に係り、特に、陽子及び炭素イオン等の荷電粒子ビームを患部に照射して治療する粒子線治療装置、荷電粒子ビームを材料に照射する材料照射装置、食品に荷電粒子ビームを照射する食品照射装置、及び荷電粒子ビームを利用したラジオアイソトープ製造装置に適用するのに好適な粒子線照射装置及びこれに用いる照射野形成装置の調整方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来の粒子線治療装置は、荷電粒子ビーム発生装置、イオンビーム輸送系及び回転式の照射装置を備える。荷電粒子ビーム発生装置は、加速器としてシンクロ

トロン（またはサイクロトロン）を含んでいる。シンクロトロンで設定エネルギーまで加速された荷電粒子ビームは、イオンビーム輸送系（第1イオンビーム輸送系）を経て照射装置に達する。回転式の照射装置は、照射装置イオンビーム輸送系（第2イオンビーム輸送系）、照射野形成装置、及び第2イオンビーム輸送系及び照射野形成装置を一体で回転させる回転装置（回転ガントリー）を有する。イオンビームは第2イオンビーム輸送系を通して照射野形成装置から患者の癌の患部に照射される。

【0003】

照射野形成装置は、荷電粒子ビーム発生装置からのイオンビームを、照射目標である患部の立体形状に合わせて整形し照射野を形成するとともに、照射野内の照射線量を調整する装置である。このように所望の照射線量を照射対象形状に合わせて照射する方法として、散乱体を通過した後のイオンビームの照射線量分布がほぼ正規分布になることを利用し、イオンビームの軸方向に距離をおいて配置した2種類の散乱体を用いて照射線量を一様化する二重散乱体法が知られている（例えば、非特許文献1参照）。

【0004】

【非特許文献1】

レビュー オブ サイエントیفイック インストルメンツ 64巻8号(1993年8月)の第2079～2083頁(REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 64 NUMBER 8 (AUGUST 1993) P2079-2083)

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、二重散乱体法は、最初にイオンビーム進行方向上流側に配置した散乱体(第1散乱体)によりイオンビームを正規分布状に広げ、その後、イオンビーム進行方向下流側に配置した散乱体(第2散乱体)での散乱によりイオンビームの照射線量分布を一様化する。このとき、特に、イオンビームを上記のように癌に照射するといった医療用途においては、近年、照射線量の一様性を高く保つことと、体内中のあらゆる患部形状に対応できるように、照射野径を大きくすること、体内での到達深度を長くすることが強く求められる傾向にある。

【0006】

ここで、二重散乱体法では、散乱体をなるべく上流側に配置することで第1及び第2散乱体の厚さを薄くして飛程損失を低減し、飛程を長くして体内到達深度を長くすることができる。通常第1散乱体は照射野形成装置の最上流付近に設置されるが、上記長飛程化のためには第2散乱体もできるだけ上流側に設置し、第1散乱体との距離をなるべく小さくしたほうがよい。その反面、二重散乱体法では、イオンビームの進行軸と第2散乱体との中心位置にずれが発生した場合に、第1及び第2散乱体間の距離が短いほど、そのずれ量に対する線量一様性の悪化率が大きくなる。したがって、線量の一様性を向上するためには、第2散乱体をなるべく下流側に設置して第1散乱体との距離をなるべく大きくしたほうがよい。

【0007】

これらの結果、上記従来の照射野形成装置の設計では、上記の長飛程化と線量一様性とのバランスを考慮して第2散乱体の最適な設置位置を決定することとなる。しかしながら、上述した照射野の大径化のニーズに対応し装置において形成可能な最大照射野径を大きくすると、比較的大径の照射野を形成する場合と比較的小径の照射野を形成する場合とでそれぞれの適切な第2散乱体設置位置が大きく異なってしまうこととなる。このため、照射野の大きさにかかわらず常に飛程を長くかつ線量一様性の高い照射を実現するのは困難であった。

【0008】

本発明の目的は、どのような大きさの照射野でも体内における荷電粒子ビームの飛程を長くでき照射する線量をより一様にできる粒子線照射装置及び荷電粒子ビームの照射方法を提供することにある。

【0009】**【課題を解決するための手段】**

上記した目的を達成する本発明の特徴は、荷電粒子ビームの進行方向における第1の位置、及びその第1位置よりもその進行方向の下流側における第2の位置のいずれかで荷電粒子ビームが通過する領域に、第1散乱体を通過した荷電粒子ビームが通過する複数の第2散乱体を位置させることにある。

荷電粒子ビームの進行方向における第1の位置、及び第2の位置に第2散乱体を位置させることができるため、形成する照射野の大きさによって第2散乱体を位置させる位置を変えることができる。このため、どのような大きさの照射野でも荷電粒子ビームの体内での飛程を長くできに照射線量をより一様にできる。例えば、比較的大径の照射野を形成する場合には第1の位置に第2散乱体を位置させ、比較的小径の照射野を形成する場合には第2の位置に第2散乱体を位置させることで、いずれの場合でも、長飛程化と線量一様性とのバランスを考慮した最適な第2散乱体位置とすることができる。この結果、照射野の大きさにかかわらず飛程を長くできかつ線量より一様になる荷電粒子ビームの照射を実現することができる。

好ましくは、荷電粒子ビーム進行方向において第1散乱体装置より下流側に、互いにサイズの異なる照射野をそれぞれ形成するための複数段の第2散乱体装置を設けるとともに、それらの第2散乱体装置の設置距離間隔を、照射野サイズの違いに応じて設定することにある。

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面を用いて詳細に説明する。

【0011】

(実施形態1)

本発明の好適な一実施形態である粒子線照射装置（粒子線治療装置）を、図2を用いて説明する。本実施形態の粒子線照射装置1は、荷電粒子ビーム発生装置2及び照射野形成装置（荷電粒子ビーム照射装置）100を備える。荷電粒子ビーム発生装置2は、イオン源（図示せず）、前段加速器3及びシンクロトロン4を有する。イオン源で発生したイオン（例えば、陽子イオン（または炭素イオン））は前段加速器（例えば直線加速器）3で加速される。前段加速器3から出射されたイオンビーム（荷電粒子ビーム）はシンクロトロン4に入射される。このイオンビームは、シンクロトロン4で、高周波加速空洞5から印加される高周波電力によってエネルギーを与えられて加速される。シンクロトロン4内を周回するイオンビームのエネルギーが設定されたエネルギーまでに高められた後、出射

用の高周波印加装置 6 から高周波が周回しているイオンビームに印加される。安定限界内で周回しているイオンビームは、この高周波の印加によって安定限界外に移行し、出射用デフレクタ 7 を通ってシンクロトロン 4 から出射される。イオンビームの出射の際には、シンクロトロン 4 に設けられた四極電磁石 8 及び偏向電磁石 9 等の電磁石に導かれる電流が設定値に保持され、安定限界もほぼ一定に保持されている。高周波印加装置 6 への高周波電力の印加を停止することによって、シンクロトロン 4 からのイオンビームの出射が停止される。

【0012】

シンクロトロン 4 から出射されたイオンビームは、イオンビーム輸送系 10 を経て照射装置である照射野形成装置 100 に達する。イオンビーム輸送系 10 の一部である逆 U 字部 11 及び照射野形成装置 100 は、回転可能なガントリー（図示せず）に設置される。逆 U 字部 11 は偏向電磁石 12, 13 を有する。イオンビームは、照射野形成装置 100 から治療台（ベッド）14 に乗っている患者 15 の患部 K に照射される。

【0013】

粒子線照射装置 1 に用いられる照射野形成装置 100 の詳細構成を図 1 に基づいて説明する。

【0014】

照射野形成装置 100 は、逆 U 字部 11 に取り付けられるケーシング 16 を有し、ケーシング 16 内に、イオンビーム進行方向の上流側より順次、イオンビームプロファイルモニタ 17、第 1 散乱体装置 18、第 2 散乱体装置 19、ブラッグピーク拡大装置（SOBP 形成装置）20、飛程調整装置 21、線量モニタ 22、平坦度モニタ 23、ブロックコリメータ 24、ボラス 25、患者コリメータ 26 を配置する。第 2 散乱体装置 19 は、第 2 散乱体装置（大照射野用第 2 散乱体装置）19A 及び第 2 散乱体装置（小照射野用第 2 散乱体装置）19B を含んでいる。

【0015】

イオンビームプロファイルモニタ 17 は、入射イオンビーム位置を測定するものであり、支持部材 27 を介してハウジング 16 に固定されている。

【0016】

第1散乱体装置18は、イオンビームの進行方向に垂直な照射領域を広げるためのものであり、イオンビーム進行方向に複数枚の散乱体（第1散乱体）28を備えている。各散乱体28は、一般に散乱量に対するエネルギー損失の量が少ない鉛やタングステン等、原子番号の大きい物質より構成される材料が用いられる。散乱量の設定方法としては、本実施例で用いる単種、あるいは複種の材料よりなる平板を複数枚重ねて2進数方式で厚みを設定する方式の替りに、2枚一組の楔型ブロックを組み合わせて駆動して連続的に厚みを設定する方式を採用してもよい。両方式とも、荷電粒子ビームが通過する物質の厚み、材質を変えることでは共通している。第1散乱体装置18は、詳細な説明は省略するが、後述する駆動制御装置51の駆動指令信号に従って設定した厚さになるように散乱体28をイオンビーム進行軸（以下、ビーム軸という）m上に配置する。

【0017】

また、各散乱体28はネジ孔を備えた支持部材29に取り付けられており、支持部材29のネジ孔にボールネジ30が螺合されている。各散乱体28には、散乱体28をビーム軸mと直行する方向に移動させる散乱体移動装置（図示せず）がそれぞれ設けられる。ボールネジ30の上端部は回転可能にケーシング16に取り付けられる。ボールネジ30の下端部は、ケーシング16に取り付けられるモータ（例えば交流サーボモータ、あるいはステップモータ等）31の回転軸に連結される。なお、第1散乱体装置18は、図示しないガイド手段によってボールネジ30まわりの回転が拘束され、ビーム軸mに沿った上下方向のみ移動可能にガイドされている。このような構造により、これらモータ31及びボールネジ30は、散乱体28の移動装置（第1散乱体移動装置、リニアアクチュエータ）を構成している。また、図示しないエンコーダが、モータ31の回転軸に連結されている。なお、このようなイオンビーム進行方向駆動による第1散乱体装置18の移動は、主としてイオンビーム散乱サイズ微調整のためのものであって移動可能距離も比較的小さく、第2散乱体装置19A、19Bを選択的に使用する意義（後述）と同様の機能（＝照射野に応じた長飛程化・線量一様化機能）は、実質的には備えていないものである。

【0018】

第2散乱体装置19A、19Bは、第1散乱体装置18により正規分布状に広げられたイオンビームを一様な線量分布とするためのものであり、いずれか一方の散乱機能が選択的に使用される。イオンビームの進行方向に沿って2段構成となっている上流側の第2散乱体装置19Aが形成しようとする照射野径が大きい場合に対応するものであり、下流側の第2散乱体装置19Bが照射野径が小さい場合に対応するものである。

【0019】

第2散乱体装置19Aは、照射野径が比較的大きい場合に対応する複数の第2散乱体（大照射野用散乱体）32を備えている。各散乱体32は、第1散乱体装置18により正規分布状に広げられたイオンビーム強度を一様化するために、粒子の通過する場所によってエネルギー損失は等しく、粒子の散乱強度は異なるように（中心側における散乱の程度は相対的に大きく径方向外周側における散乱の程度は相対的に小さいように）、複数種の材質及び厚みにより構成されている。形状としては、2重リング構造、段階的に材料の割合を変えるContoured構造等がある。

【0020】

また散乱体32は、円形（略円盤状）の散乱体設置テーブル（第1テーブル、上流側テーブル）33の上に周方向に複数個（この例では5個の散乱体32a～e）が搭載されている。このとき、テーブル33のうち散乱体32の設置されていない個所には、第1散乱体装置2で散乱されたイオンビームを素通しするブランクポート（開口部）33aが設けられている（後述の図3参照）。このテーブル33は、テーブル駆動装置34を介し、ケーシング16に固定された支持部材35に回転可能に支持されている。そして、テーブル駆動装置34にて回転駆動されることで、高効率で精度の高い照射を行うために複数の散乱体32a～eの中から1種を選択してビーム軸上に配置して所望の散乱を行わせるか、若しくはブランクポート33aをビーム軸上に配置し散乱を行わずイオンビームを素通しするようになっている。

【0021】

第2散乱体装置19Bは、照射野径が比較的小さい場合に対応する複数の第2散乱体（小照射野用散乱体）36を備えており、上記第2散乱体装置19Aに備えられた複数の第2散乱体36の形成する小さな照射野径と対比した場合のその照射野サイズの差に応じて、予め設定された距離（例えば200mm～数百mm程度）だけ第2散乱体装置19Aから下流側に離して設置されている。

【0022】

各散乱体36は、第2散乱体装置19Aの第2散乱体32と基本的には同等の構成であるが、小照射野形成用として、第2散乱体32よりも全般に厚みや径方向寸法が異なっている。またこれら第2散乱体36も、第2散乱体32と同様、円形（略円盤状）の散乱体設置テーブル（第2テーブル、下流側テーブル）37の上に周方向にこの例では5個の散乱体36a～eが搭載され、さらにテーブル37にはイオンビーム素通し用のブランクポート（開口部）37aが設けられている（後述の図3参照）。テーブル37は、テーブル33同様ケーシング16に回転可能に支持されており、テーブル駆動装置38にて回転駆動されることで、高効率で精度の高い照射を行うために複数の第2散乱体36a～e及びブランクポート37aから1つが選択されてビーム軸上に配置されるようになっている。

【0023】

図3は、上記した構成の第2散乱体装置19A、19Bのテーブル33、37の位置関係をイオンビーム進行方向上流側より見た図である。図示のように、散乱体設置テーブル33、37は、お互いのテーブルの円周上に設置された第2散乱体32a～e、36a～e及びブランクポート33a、37aの中心位置がビーム軸m上で一致するように配置されている。図示の例では、第1散乱体装置18により正規分布状に広げられたイオンビームを一様な線量分布とする第2散乱体として第2散乱体装置19Bの第2散乱体36aが選択された例を示している。すなわち、第2散乱体装置19Aにおいてはブランクポート33aがビーム軸m上に位置するようにテーブル33が駆動され、第2散乱体装置19Bにおいては第2散乱体36aがビーム軸m上に位置するようにテーブル37が駆動されている。

【0024】

なお、上記はテーブル 33, 37 が円形でそれらを回転駆動して第 2 散乱体及びブランクポートを選択する場合を例にとって説明したが、これに限られない。すなわち、テーブルの形状を四角形として、このテーブルを、テーブル駆動制御装置の制御に基づきテーブル駆動装置が例えばビーム軸に垂直な面上で直交する 2 軸方向にスライド駆動させる方法等でもよい。

【0025】

S O B P 形成装置 20 は、イオンビームのエネルギー分布幅を広げてイオンビーム進行方向深さに線量分布を拡大するもので、S O B P フィルタ装置、エネルギー変調装置、エネルギーフィルタ装置等とも称される。一般には、エネルギー損失の量に対する散乱量が少ない樹脂系素材やアルミニウム等の原子番号の小さい物質により、イオンビーム進行方向に垂直な平面上に厚さの異なる領域を構成している。それぞれの厚さをイオンビームが通過することによりイオンビームが複数のエネルギー成分を持ち、各厚さ部分の面積を決めることで、イオンビームの各エネルギー成分の重みが決まる。それら複数のエネルギー成分の重ね合せにより線量分布を調整し、イオンビーム進行方向に一様性の高い線量分布を形成するものである。

【0026】

S O B P 形成装置 20 は、この例では、いわゆるリッジフィルタであり、3 種類の楔体 39 A, 39 B, 39 C を備えている。各楔体 39 A, 39 B, 39 C はそれぞれ、飛程調整装置 21 側（この例では下方）に向って伸びる楔形部材（楔型に成型した物質）39 a を多数個並べ、さらにそれら楔形部材 39 a の両側面を階段状の形状として構成されている。

【0027】

図 4 は、これら楔体 39 A, 39 B, 39 C の詳細構造を表す上面図であり、楔体 39 A, 39 B, 39 C は、それぞれに対応する貫通孔 40 A, 40 B, 40 C を備えた矩形状の支持部材（テーブル）40 に取り付けられている。テーブル 40 は、ケーシング 16 に取り付けられた駆動装置（例えば交流サーボモータ）41 によって、ビーム軸に垂直な面内において一軸方向（図 1 中左・右方向）にスライド駆動され、これによって適宜の楔体 39 A, 39 B, 39 C が選択可

能となっている。各楔体 3 9 A, 3 9 B, 3 9 C は、例えば、楔形部材の高さ、階段部の幅及び高さが異なっており、照射野形成装置 1 0 0 への入射エネルギー及び S O B P 幅に応じて選択してテーブル 4 0 に予め取り付けられる。S O B P 幅はイオンビームの進行方向における患部 K の長さに応じて定まる。

【 0 0 2 8 】

なお、上記テーブル 4 0 の形状は矩形に限られず、他の形状でもよい。例えば、ビーム軸に垂直に円形テーブルを設置し、その円周方向に複数の楔体を設置し、テーブルを回転させて楔体を選択（変更）するようにしてもよい。

【 0 0 2 9 】

また、S O B P 形成装置 2 0 は、上記リッジフィルタ以外に、例えば階段状に加工した物質を羽根とするプロペラ上の構造物（ビーム軸に垂直な平面方向に回転させる）である Range Modulator Wheel（回転ホイール型）等でもよい。この場合、各エネルギー分布の重ね合わせの時間平均を取ることにより、イオンビーム進行方向の線量分布が一様となるように調整される。これらの装置については、例えば、レビュー オブ サイエнтиフィック インスツルメンツ 64 巻 8 号（1993 年 8 月）の第 2074 項から第 2079 項（REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 64 NUMBER 8 (AUGUST 1993) P2074-2079）に詳しい。

【 0 0 3 0 】

また、S O B P 形成装置 2 0 を用いず、照射野形成装置に入射されるイオンビームの入射エネルギー、及びイオンビームの強度を調整することにより、線量分布を調整することも可能である。

【 0 0 3 1 】

飛程調整装置 2 1 は、材料物質を通過する時のエネルギー損失によりイオンビームの飛程を減らし、そのときのエネルギー損失を変化させることで、体内での最大到達深度、すなわち飛程を調整する装置であり、レンジシフタ、ファインデグレーダ、エネルギーデグレーダ等とも称される。一般には、材料として、エネルギー損失の量に対する散乱量が少ないアクリルやルサイト等、原子番号の小さい物質より構成される材料が用いられる。

【 0 0 3 2 】

飛程調整装置 21 は、この例では、ビーム軸を挟んで対向するように配置された 2 枚一組の楔型ブロック（吸収体）42A, 42B を備えている。ケーシング 16 に取り付けられたブロック駆動装置（例えば交流サーボモータ）43, 43 により、それらブロック 42A, 42B をビーム軸 m に垂直な面内において一軸方向（図 1 中左・右方向）にスライド駆動して、重なり部の厚みを連続的に変化させ、これによって荷電粒子が通過する材料部分の厚みを変えるようになっている。

【0033】

なお、飛程調整装置 21 は、上記のタイプ以外にも、単種、あるいは複種の材料よりなる平板を複数枚重ね、2 進数方式で厚みを設定しエネルギー損失量を設定する方式等でもよい。

【0034】

また飛程調整装置 21 自体、必ずしも必要なものではなく、その機能を、ボース 25 の底厚を厚くすることで代替することも可能であり、さらに、入射する荷電粒子ビームの入射エネルギーを細かく調整することによっても飛程を調整することが可能である。

【0035】

線量モニタ 22 は形成した照射野内の線量分布を測定し、平坦度モニタ 23 は、線量分布の平坦度を測定するものであり、テーブル状の支持部材 44 上に設けられている。

【0036】

ブロックコリメータ 24 は、照射野を粗くコリメートするものであり、ケーシング 16 に取り付けられている。

【0037】

ボース 25 は、治療患者 15 の患部の最大深さに合わせてイオンビームの到達深度を調整するものであり、イオンビームの進行方向に垂直な各位置における飛程を、照射目標である患部 K の深さ形状に合わせて調整する。このボース 25 は、飛程補償装置、エネルギーコンペンセータ、コンペンセータ等とも称される。なお、多方向から照射を行う場合や、治療部位によっては使用しない場合も

ある。

【0038】

患者コリメータ 26 は、イオンビーム進行方向と垂直な平面方向に患部形状に合わせてイオンビームを整形する。なお、治療部位によっては使用されない場合もある。

【0039】

以上のような構成の照射野形成装置 100 により形成された照射野は、治療患者 15 の患部 K においてそのエネルギーを放出し、高線量領域を形成する。なお、構成機器の配置順序については第 1 散乱体装置 18、第 2 散乱体装置 19 A、及び第 2 散乱体装置 19 B の順序は固定されているが、SOBP 形成装置 20 及び飛程調整装置 21 については第 1 散乱体装置 18 の上流、第 1 散乱体装置 18 と第 2 散乱体装置 19 A、19 B との間に配置される場合がある。また、ボラス 25、患者コリメータ 26 については第 2 散乱体装置 19 A、19 B の下流に配置されるが、配置順序については、上記の逆となる場合がある。

【0040】

本実施形態の粒子線治療装置は、照射制御装置 50、及び駆動制御装置 51～56 を有する制御システム 80 を備える。照射制御装置 50 及び駆動制御装置 51～56 を個々に設けずに、制御システム 80 が照射制御装置 50 及び駆動制御装置 51～56 の各機能を発揮するように構成してもよい。

【0041】

照射制御装置 50 にはメモリ 57 が設けられており、このメモリ 57 は、照射条件情報を記憶する。照射条件情報の項目は、照射野形成装置 15 内でのイオンビーム通過領域に位置させる第 1 散乱体 28 の厚み (SC1 厚)、イオンビーム進行方向における第 1 散乱体 28 の位置 (SC1 位置)、飛程調整装置 21 における、イオンビーム通過領域に位置させるブロック 42 A、42 B の厚み (RS 厚)、第 2 散乱体装置 (19 A または 19 B) (SC2 テーブル)、イオンビーム通過領域に位置させる第 2 散乱体 32、36 の種類 (SC2 種) である。照射条件情報は、例えば表 1 に示すように、照射目標である患部 K のビーム軸 m に直角な方向における大きさ (照射野径、照射野サイズ)、患部 K のビーム軸方向 (深さ方向)

の位置(照射野最大到達深度、飛程)及び大きさ、照射野形成装置 15 への入射イオンビームエネルギー(入射 E_g)に対応して定められている。照射野サイズ、飛程(体内でのイオンビームの飛程)、入射イオンビームエネルギーと、第 1 散乱体厚み、第 1 散乱体位置、飛程調整装置ブロック厚み、第 2 散乱体テーブルの種類、第 2 散乱体種類との関係は、予め、計算および実験により求めておく。また飛程と S O B P 形成装置 20 の楔体 39 A, 39 B, 39 C の種類との対応付けも予め求められ、照射条件情報としてメモリ 57 に記録されている。

【0042】

【表 1】

| 照射野径 | 飛程 | 入射 E _g | SC1 厚 | SC1 位置 | RS 厚 | SC2 テーブル | SC2 種 |
|------------|----------|-------------------|----------|----------|---------|-----------|-------|
| φ 350 [mm] | 40 [mm] | 100 [MeV] | 3 [mm] | 70 [mm] | 50 [mm] | 1 (上流) | 1-1 |
| | : | | | : | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| | 90 [mm] | 150 [MeV] | 6 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | 90 [mm] | | | 50 [mm] | 60 [mm] | | |
| | : | | | : | : | | |
| | : | 200 [MeV] | 10 [mm] | : | : | 1 (上流) | 1-2 |
| | 150 [mm] | | | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | 150 [mm] | | | 30 [mm] | : | | |
| | : | 250 [MeV] | 15 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | : | | | 10 [mm] | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| φ 200 [mm] | 40 [mm] | 100 [MeV] | 2 [mm] | 100 [mm] | 50 [mm] | 2 (下流) | 2-1 |
| | : | | | : | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| | 90 [mm] | 150 [MeV] | 4 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | 90 [mm] | | | 80 [mm] | 60 [mm] | | |
| | : | | | : | : | | |
| | 150 [mm] | 200 [MeV] | 7 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | 2 (下流) | 2-2 |
| | 150 [mm] | | | 60 [mm] | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| | : | 250 [MeV] | 10 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | : | | | 30 [mm] | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| φ 60 [mm] | 40 [mm] | 100 [MeV] | 1 [mm] | 100 [mm] | 50 [mm] | 2 (下流) | 2-3 |
| | : | | | : | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| | 90 [mm] | 150 [MeV] | 2 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | 90 [mm] | | | 100 [mm] | 60 [mm] | | |
| | : | | | : | : | | |
| | 150 [mm] | 200 [MeV] | 3.5 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | 2 (下流) | 2-4 |
| | 150 [mm] | | | 80 [mm] | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| | : | 250 [MeV] | 5 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | : | | | 60 [mm] | : | | |
| | : | | | : | : | | |
| | : | 250 [MeV] | 5 [mm] | 0 [mm] | 0 [mm] | | |
| | : | | | 60 [mm] | : | | |
| | : | | | : | : | | |

【0043】

治療計画装置 58 は、治療する患者 15 に対する治療計画情報（照射野サイズ、イオンビームの入射方向、その入射方向における飛程、入射エネルギー等）を記憶している。

【0044】

次に、上記構成の本実施形態の粒子線照射装置の動作を以下に説明する。

【0045】

まず、照射野形成装置 100 に対する患者 15 の位置決め前に、照射制御装置 50 は、治療計画装置 58 から患者 15 に対する治療計画情報（照射野サイズ、飛程、入射エネルギー等）を入力し、メモリ 57 に記憶させる（あるいは治療計画装置 58 にて入力された患部 K の位置及び形状より、照射野サイズや飛程等の照射条件を照射制御装置 50 が決定し、メモリ 57 に入力記憶するようにしてもよい）。照射制御装置 50 は、メモリ 57 に記憶された、患者 15 に対する治療計画情報である照射野サイズ（照射野情報）、飛程（飛程情報）及び入射エネルギー（ビームエネルギー情報）を用いて、メモリ 57 にあらかじめ記録されている表 1 に例示したような照射条件情報から、第 1 散乱体の厚み、第 1 散乱体位置、第 2 散乱体搭載テーブル、第 2 散乱体の種類、及び吸収体の厚み（飛程調整装置の厚み）を選定する。例えば、照射野情報に基づいて第 2 散乱体搭載テーブル（イオンビーム進行方向における第 2 散乱体の位置）が、ビームエネルギー情報に基づいて第 1 散乱体の位置及び第 2 散乱体がそれぞれ選定される。イオンビームの入射エネルギーが大きくなる程、厚みの厚い散乱体を選定され、要求される飛程が短い程、厚みの厚い吸収体を選定される。

【0046】

また照射制御装置 50 は、駆動制御装置 51 に対し、駆動指令信号と共に選定された第 1 散乱体の厚み情報を出力する。駆動制御装置 51 は、その厚み情報に基づいて選定された厚さとなるように第 1 散乱体装置 18 内の散乱体 28（一枚または複数枚）を選定する。駆動制御装置 51 は駆動指令信号に基づいて該当する散乱体移動装置を駆動させ、選択された散乱体 28 を移動させてビーム軸 m 上

に位置させる。

【0047】

さらに、照射制御装置 50 は、第 1 散乱体駆動制御用の駆動制御装置 52 に対して、駆動指令信号と共に第 1 散乱体の位置情報を出力する。駆動制御装置 52 は、その位置情報に基づいてモータ 31 を回転させ、支持部材 29 を所定の位置まで移動させる。これに伴って、第 1 散乱体装置 18 は位置情報に対応した位置まで移動される。駆動制御装置 52 は、支持部材 29 がその位置に達したことを例えばエンコーダの検出信号で確認する。なお、この第 1 散乱体装置 18 の移動においては、前述した照射情報のすべてが必ずしも必要であるわけではなく、照射目標である患部 K のビーム軸 m に直角な方向における大きさ（照射野径、照射野サイズ）、患部 K のビーム軸方向（深さ方向）の位置（照射野最大到達深度、飛程）、及び患部 K のビーム軸方向（深さ方向）の大きさの少なくとも 1 つに基づき駆動制御することが可能である。

【0048】

また、照射制御装置 50 は、治療計画情報に基づいて第 2 散乱体装置 19 A を選択した場合には第 2 散乱体 32 のうち選定された第 2 散乱体を示す第 2 散乱体識別信号を駆動制御装置 53 へ、第 2 散乱体装置 19 B を選択した場合には第 2 散乱体 36 のうち選定された第 2 散乱体を示す第 2 散乱体識別信号を駆動制御装置 54 へ出力する。すなわち、第 2 散乱体識別信号は、照射制御装置 50 から、イオンビームを照射する患者 15 に対して大きな照射野径（表 1 に示したデータ例では例えば照射野径 $\phi = 350 \text{ mm}$ ）を形成する必要がある場合には駆動制御装置 53 へ、小さい照射野径（表 1 に示したデータ例では例えば照射野径 $\phi = 200 \text{ mm}$, 60 mm ）を形成する必要がある場合には駆動制御装置 54 へ出力される。第 2 散乱体識別信号が入力された駆動制御装置 53（又は駆動制御装置 54）は、その第 2 散乱体識別信号に応じテーブル 33（又はテーブル 37）の回転角度を設定してテーブル駆動装置 34（又はテーブル駆動装置 38）を駆動する。これにより、テーブル 33（又はテーブル 37）が回転され、識別信号に対応した（言い換えれば形成する照射野サイズに応じた適切な）第 2 散乱体 32（又は第 2 散乱体 36）を移動させてビーム軸 m 上（イオンビームの通過領域）に

配置する。テーブル 33 の回転は、イオンビームの進行方向において第 1 散乱体 28 よりも下流の第 1 位置でビーム軸 m 上に第 2 散乱体 32 を位置させることになる。テーブル 37 の回転は、イオンビームの進行方向において第 1 散乱体 28 及び上記第 1 位置よりも下流の第 2 の位置ビーム軸 m 上に第 2 散乱体 36 を位置させることになる。

このとき、第 2 散乱体識別信号が入力されなかった駆動制御装置 54（又は駆動制御装置 53）には、照射制御装置 50 からブランクポートの識別信号が出力される。ブランクポートの識別信号が入力された駆動制御装置 54（又は駆動制御装置 53）は、これに応じてテーブル 37（又はテーブル 33）の回転角度を設定してテーブル駆動装置 38（又はテーブル駆動装置 34）を駆動する。これにより、テーブル 33（又はテーブル 37）が回転され、テーブル 37（又はテーブル 33）のブランクポート 37a（又はブランクポート 33a）を移動させてビーム軸 m 上に配置する。

【0049】

さらに、照射制御装置 50 は、前述の照射条件から、駆動指令信号と共に、S O B P 形成装置の種類を示す識別信号を駆動制御装置 55 に対して出力する。駆動制御装置 55 は、識別信号に基づいて、図 4 に示したように複数の楔体 39A、39B、39C が搭載されている中から照射線量がイオンビーム進行方向へ設定値だけ拡大されるものを選択し、駆動装置 41 によりテーブル 40 をイオンビーム進行方向に垂直な面上で平行移動させることで、ビーム軸 m 上に配置する。

【0050】

また、照射制御装置 50 は、前述の照射条件から、駆動指令信号と共に、飛程調整装置 21 の厚み情報を駆動制御装置 56 に出力する。駆動制御装置 56 は、その厚み情報に基づいて、ビーム軸 m 上で楔形ブロック 42A、42B の重なり合う距離が設定値に対応した厚さとなるように、駆動装置 43、43 を駆動してブロック 42A、42B を所定の位置まで平行移動させる。

【0051】

以上のようにして、選定された散乱体及び吸収体がイオンビーム通過位置（ビーム軸 m 上）に設定され、第 1 散乱体装置 18 が所定の位置まで移動された後に

、イオンビームの調整等の治療前の準備が行われる。

【0052】

さらに、患者15用のボーラス25がケーシング16のボーラス保持部に設置され、患者コリメータ26がボーラス保持部の下方でケーシング16に設置される。このとき、これらボーラス25及び患者コリメータ26は、材質としてケミカルウッド、真ちゅう等のイオンビーム遮蔽物質が用いられており、治療計画装置58から出力される患部形状に合わせて成型される。ボーラス25は、患部のイオンビーム進行方向最深部の形状の形状と3次元的に一致するように精密加工され、1照射ごとに交換する。コリメータ26は、患部形状のイオンビーム進行方向と垂直な面上での投影図と一致するように精密加工され、1照射ごとに交換する。

【0053】

これらの準備が完了した後、治療台14を移動して患者15の患部Kを照射野形成装置100のビーム軸mと一致させ、治療開始となる。オペレータは、操作盤（図示せず）から治療開始信号を入力する。その治療開始信号を取り込んだ加速器制御装置（図示せず）の作用によって、所望のエネルギーにまで加速されたイオンビームがシンクロトロン4から出射される。

【0054】

イオンビームは、前述したように、照射野形成装置100に達し、照射野形成装置100内でビーム軸mに沿って進行する。すなわち、第1散乱体18、及び第2散乱体32（又は36）を通過して散乱され、イオンビーム進行方向に対して円錐状に拡大される。その後、イオンビームは、SOBP形成装置20を通過する。SOBP形成装置20では、前述したように楔形部材39aはイオンビーム進行方向における厚みが異なることから、イオンビームのエネルギーの減衰度合いがその通過領域に応じて異なるようになり、それぞれ体内の異なる位置でそれぞれブラッグピークを形成するようになる。この結果、イオンビーム進行方向における放射線量の分布の平坦化が図られる。その後、イオンビームは飛程調整装置21の楔形ブロック42A、42Bを通過し、これらブロック42A、42Bがイオンビームのエネルギーを減少させることによって、イオンビームの体内

における飛程が調整される。

【0 0 5 5】

飛程調整装置 2 1 を通過したイオンビームは、ボーラス 2 5 を通過する。イオンビームの飛程は、ボーラス 2 5 によって、イオンビーム進行方向における患部 K の形状に合わせて調整される。ボーラス 2 5 を通過し、患部 K をビーム軸 m 方向に投影した形状の外側に位置するイオンビームは、患者コリメータ 2 6 によって除外される。すなわち、コリメータ 2 6 はその形状の内側に位置するイオンビームのみを通過させる。コリメータ 2 6 を通過したイオンビームは治療する患部領域に集中した高線量領域を形成しつつ、患部 K に照射される。

【0 0 5 6】

次に、上記の構成及び動作である本実施形態の粒子線照射装置の作用及び効果を以下に説明する。

【0 0 5 7】

(1) 長飛程化及び照射線量一様化の効果

前述したように、一般に、二重散乱体法では、散乱体をなるべく上流側に配置することで第 1 及び第 2 散乱体の厚さを薄くして飛程損失を低減し、飛程を長くしてイオンビームの体内到達深度を深くすることができる。通常、第 1 散乱体は照射野形成装置の最上流付近に設置されるが、長飛程化のためには第 2 散乱体もできるだけ上流側に設置し、第 1 散乱体との距離をなるべく小さくしたほうがよい。なお、第 2 散乱体が照射目標に近いほどコリメータで切り出したときの端部形状の鋭敏さが低下するという面もあり、この意味からも第 2 散乱体はできるだけ上流側の方がよい。図 5 (a) は、このような第 1 散乱体位置を固定した場合の第 2 散乱体と第 1 散乱体との間の距離と、飛程（到達深度）との関係を表す図である。第 2 散乱体と第 1 散乱体との間の距離が小さいほど、飛程が長くなることが分かる。

【0 0 5 8】

その反面、二重散乱体法では、イオンビームの進行軸と第 2 散乱体との中心位置にずれが発生した場合に、第 1 散乱体と第 2 散乱体との間の距離が短いほど、そのずれ量に対する患部 K への線量一様性の悪化率が大きくなる。したがって、

患部Kに照射する線量（単に、線量という）の一樣性を向上するためには、第2散乱体をなるべく下流側に設置して第1散乱体との距離をなるべく大きくしたほうがよい。図5（b）は、このような第1散乱体位置を固定した場合の第2散乱体と第1散乱体との間の距離と、ずれ量あたりの線量分布一樣性悪化率との関係を表す図である。第2散乱体と第1散乱体との間の距離が大きいほど、その一樣性悪化率が小さくなる（照射する線量の一樣性が向上する）ことが分かる。

【0059】

しかしながら、例えば近年の医療用途における要請に基づき形成可能な最大照射野径を増大した場合を考えると、図5（a）及び図5（b）に示すように、比較的大径の照射野を形成する場合と比較的小径の照射野を形成する場合とで、その特性が大きく異なってくる。

【0060】

すなわち、図5（b）に示す線量一樣性の悪化についてみると、比較的大きな照射野を形成する場合、イオンビームの進行軸と第2散乱体との中心位置とが多少ずれたとしても、大きな照射野全体の中でみるとその影響は小さくある程度吸収されてしまう。このため、比較的小さな照射野を形成する場合に比べて線量一樣性の悪化率の値は小さい。一方、図5（a）に示す飛程についてみると、比較的小さな照射野を形成する場合、小さい照射野でイオンビームが相対的に集中することから、比較的大きな照射野を形成する場合に比べて飛程が長く、到達深度は大きい。

【0061】

以上の結果、大照射野を形成する場合には、もともと線量一樣性の悪化率の値が相対的に小さいことから、バランス上、線量一樣性を多少悪化させても飛程重視としてなるべく第2散乱体と第1散乱体との間の距離を小さくするほうが好ましい。逆に、小照射野を形成する場合には、もともと飛程は相対的に長いことから、バランス上、多少飛程を短くしても線量一樣性重視として第2散乱体と第1散乱体との間の距離を大きくするほうが好ましいことがわかる。

【0062】

本実施形態の粒子線照射装置に備えられた照射野形成装置100においては、

上記に対応し、照射野径が大きい（例えば照射野径 $\phi = 350\text{ mm}$ ）場合には駆動制御装置 53 により駆動装置 34 を駆動制御してテーブル 33 を回転させ、テーブル 33 上の第 2 散乱体 32 a～e のうち 1 つをビーム軸 m 上に位置させる。このときテーブル 37 はブランクポート 37 a がビーム軸 m 上となる。また、照射野径が小さい（例えば照射野径 $\phi = 200\text{ mm}$, 60 mm ）場合には駆動制御装置 54 により駆動装置 38 を駆動制御してテーブル 37 を回転させ、テーブル 37 上の第 2 散乱体 36 a～e のうち 1 つをビーム軸 m 上に位置させる。このときテーブル 33 はブランクポート 33 a がビーム軸 m 上となる。

【0063】

これにより、大照射野形成時は図 5（a）及び図 5（b）中の比較的左側の領域においてイオンビームの照射を行うこととなり、図 5（a）において飛程損失を低減して飛程を例えば X_L のように長くすることができ、図 5（a）中に示すように小照射野形成時における飛程の最小値 X_S と同程度まで長飛程化を図ることができる。但しこのとき、図 5（b）において線量一様性の悪化率は例えば α_L まで相対的に大きくなるが、図 5（b）中に示すようにそれでも小照射野形成時における線量一様性悪化率の最小値 α_S と同程度にとどめることができる。

【0064】

一方、小照射野形成時は図 5（a）及び図 5（b）中の比較的右側の領域においてイオンビームの照射を行うこととなり、図 5（b）において線量一様性の悪化率を低減して例えば α_S のようにすることができ、図 5（b）中に示すように大照射野形成時における線量一様性悪化率の最大値 α_L と同程度まで線量一様性向上を図ることができる。但しこのとき、図 5（a）において飛程は例えば X_S まで相対的に小さくなるが、図 5（a）中に示すようにそれでも大照射野形成時における飛程の最大値 X_L と同程度にとどめることができる。

【0065】

以上のようにして、本実施形態によれば、大照射野形成時でも小照射野形成時でも、飛程はほぼ上記 X_S や X_L 程度の比較的大きな値を確保してそれより短くなるのを防止でき、線量一様性悪化率については α_S や α_L 程度の比較的小さな値を確保してそれより大きくなるのを防止できる。すなわち、照射野径の大小に

関係なく長飛程化と線量一様性とのバランスを考慮した最適な第2散乱体位置とすることができるので、形成可能な照射野径範囲全体にわたって、常に飛程が長く線量一様性が高い照射を実現することができる。

【0066】

(2) 線量一様性のさらなる向上

本実施形態では、第2散乱体32又は36の照射野径に応じた使い分けに加え、第1散乱体装置18がイオンビーム進行方向に移動可能であることから、患部Kの位置におけるイオンビームの散乱サイズ（イオンビームの進行方向に直交する方向においてイオンビームの拡大されたサイズ）を微調整することができる。すなわち、第1散乱体28を患部Kに近づけることによって散乱サイズが小さくなり、逆に遠ざけることによって散乱サイズが大きくなる。このような第1散乱体28の移動により、患者15体内におけるイオンビームの飛程を変えないで、イオンビーム進行方向における放射線量分布が平坦化された最適なイオンビーム散乱サイズに調整することができ、この結果患部Kにおける照射された放射線量の分布を微調整することができる。具体的には、イオンビームの散乱サイズが最適散乱サイズより小さい場合には第1散乱体28を患部Kから遠ざけ、逆に最適散乱サイズよりも大きい場合には第1散乱体28を患部Kに近づける。このようにして、本実施形態によれば、患部K内の放射線量分布をさらに一様にすることができる。

(3) 本実施形態は、制御システム、特に、照射制御装置50、駆動制御装置53、54の機能により、第2散乱体32及び第2散乱体36をイオンビームの進行方向における異なる位置でイオンビームの通過領域に容易に位置させることができる。特に、照射制御装置50が、患者15の治療計画情報、すなわち照射野径（照射野情報）を用いて、第2散乱体を位置すべき、イオンビーム進行方向における位置（第1位置または第2位置（具体的にはテーブル33またはテーブル37））を選択するため、患者15に対応させて望ましい位置に第2散乱体を位置させることができる。これにより、患者15が必要とする照射野サイズに対応したイオンビームを容易に得ることができ、しかも線量を一様化することができる。

【0067】

なお、本実施形態の本質的な効果である上記（１）を得る限りにおいては、必ずしも第１散乱体装置１８はビーム軸ｍ方向に移動可能である必要はなく、固定構造であってもよいことは言うまでもない。

【0068】

また、上記実施形態においては、第２散乱体装置１９Ａと第２散乱体装置１９Ｂとの２段を設け、照射野の大きさに応じて使い分けたが、これに限られず、さらにこれらの間に中照射野用第２散乱体装置を設けて３段構成としさらに細かく使い分けても良いし、４段以上としてもよい。要は、互いにサイズの異なる照射野をそれぞれ形成するために、イオンビーム進行方向に沿って第１散乱体装置１８より下流側に照射野サイズの違いに応じた距離間隔をもって複数段設ければ足りる。

【0069】**（実施形態２）**

本発明の他の実施形態である実施形態２の粒子線照射装置（粒子線治療装置）を、以下に説明する。本実施形態の粒子線照射装置は、図１に示す粒子線照射装置１において、照射野形成装置１００を図６に示す照射野形成装置１００Ａに替えた構成を有する。

【0070】

図６において、照射野形成装置１００Ａは、上流側及び下流側にそれぞれ配置された２段の固定式の第２散乱体装置１９Ａ、１９Ｂに代えてビーム軸ｍ方向に移動可能な可動式の第２散乱体装置６０を設けたものである。照射野形成装置１００Ａは、更に、第２散乱体移動装置６４を備える。

【0071】

第２散乱体装置６０は、照射野径が大きい場合と照射野径が小さい場合との両方に対応する（言い換えれば照射野径の大きさに関係なく用いられる）ものであり、第２散乱体６１を備えている。第２散乱体６１は、第１実施形態における第２散乱体３２、３６と同様、円形（略円盤状）の散乱体設置テーブル６２の上に周方向に複数個の第２散乱体６１が搭載されている。第２散乱体装置６０の詳細

構成を、図 7 を用いて説明する。複数の第 2 散乱体 61 は、第 2 散乱体 32、36 をそれぞれ複数個含んでいる。第 2 散乱体装置 60 は、更に、円板状の支持部材 73 及び支持筒部材 68 を備える。支持筒部材 68 の一端がテーブル 62 に取り付けられる。支持筒部材 68 の他端部は支持部材 68 に取り付けられた押え部材 72 内に回転可能に保持される。下端部がケーシング 16 の水平壁部分に設置されているボールネジ 65 が、支持部材 73、支持筒部材 68 及びテーブル 62 を貫通している。テーブル 62 は支持筒部材 68 と共にボールネジ 65 の周囲を回転する。ボールネジ 65 はビーム軸 m に並行して延びている。

テーブル駆動装置 63 は、モータ 69、歯車 70、71 を有する。モータ 69 は支持部材 73 に設置される。モータ 69 の回転軸に取り付けられた歯車 70 は、支持筒部材 68 が貫通し支持筒部材 68 に取り付けられた歯車 71 に噛み合っている。モータ 69 の回転力は、歯車 70 を介して歯車 71 に伝えられて支持筒部材 68 を回転させ、テーブル 62 を回転させる。このように、テーブル駆動装置 63 によるテーブル 62 の回転によって、高効率で精度の高い照射を行うために複数の第 2 散乱体 61 から 1 つが選択されてビーム軸 m 上に位置されるようになっている。なお、第 2 散乱体装置 60、具体的には支持部材 73 がケーシング 16 に固定されたガイド装置（図示せず）によってボールネジ 65 まわりの回転が拘束され、ビーム軸 m と平行な方向にのみ移動可能にガイドされている。

【0072】

第 2 散乱体移動装置（リニアアクチュエータ）64 は、モータ（例えば交流サーボモータ、あるいはステップモータ等）74、歯車 75、ナット部材 76、ナット保持部材 77 を有する。モータ 74 及びナット保持部材 77 は、モータ 69 が取り付けられる面とは反対側の面で支持部材 73 に設置される。ボールネジ 65 はナット保持部材 77 を貫通する。ナット部材 76 はボールネジ 65 と噛み合っている。ナット部材 76 は、ナット保持部材 77 の他端部内に配置され、ナット保持部材 77 とナット保持部材 77 に取り付けられた押え部材 78 との間に回転可能に位置する。モータ 74 の回転軸に取り付けられた歯車 75 が、ナット部材 76 の周囲に形成された歯車と噛み合う。また、図示しないエンコーダが、モータ 74 の回転軸に連結されている。

【0073】

ここで、本実施形態の粒子線治療装置は、照射制御装置 50、駆動制御装置 51、52、55、56、66、67を含む制御システム 80Aを備える。駆動制御装置 66、67は第1の実施形態の駆動制御装置 53、54に代えて設けられる。

【0074】

駆動制御装置 66は、第1の実施形態の駆動制御装置 53、54に機能的には類似するものである。すなわち、照射制御装置 50が、メモリ 57に記憶された治療計画情報を用いてメモリ 57にあらかじめ記憶された表 1 に例示したような照射条件情報から必要な第2散乱体 61を選定する。選定された第2散乱体 61を示す第2散乱体識別信号を照射制御装置 50から入力した駆動制御装置 66は、その第2散乱体識別信号に応じテーブル 62の回転角度を設定してテーブル駆動装置 63のモータ 69を回転させる。これによりテーブル 62が回転されて、第2散乱体識別信号に対応した第2散乱体 61がビーム軸m上に位置される。

【0075】

一方、メモリ 57に記憶された照射条件情報は、表 1 に示す照射条件情報のうち「第2散乱体搭載テーブル（SC2テーブル）」の替りに「第2散乱体位置（SC2位置）」を含んでいる。照射制御装置 50は、患者 15の治療計画情報に基づいて選定した第2散乱体位置を示す第2散乱体位置情報を、駆動制御装置 67に対して出力する。駆動制御装置 67は、その位置情報に基づいて第2散乱体移動装置 64を駆動させ、テーブル 62をその第2散乱体位置まで移動させる。具体的にはモータ 74を回転させる。モータ 74の回転力は歯車 75を介してナット部材 76に伝えられる。ボールネジ 65と噛み合っナット保持部材 77と押え部材 78との間に位置するナット部材 76がボールネジ 65の軸方向に移動するため、ナット保持部材 77、支持部材 73、支持筒部材 68及びテーブル 62がボールネジ 65の軸方向に移動する。これによって、テーブル 62が第2散乱体位置情報に対応した位置（第2散乱体位置）まで移動される。駆動制御装置 67は、テーブル 62がその位置に達したことを例えばエンコーダの検出信号で確認したとき、モータ 74の回転を停止させる。

患者 1 5 に対して要求される照射野径が大きい（表 1 に示したデータ例では例えば照射野径 $\phi = 3 5 0 \text{ mm}$ ）場合には、第 2 散乱体装置 6 0 のテーブル 6 2 は、駆動制御装置 6 7 の上記制御によって、前述の第 1 実施形態における第 2 散乱体装置 1 9 A のテーブル 3 3 の位置（第 1 設定位置）まで移動される。また、その要求される照射野径が小さい（表 1 に示したデータ例では例えば照射野径 $\phi = 2 0 0 \text{ mm}$, $6 0 \text{ mm}$ ）場合には、第 2 散乱体装置 6 0 のテーブル 6 2 は、駆動制御装置 6 7 の上記制御によって、前述の第 1 実施形態における第 2 散乱体装置 1 9 B のテーブル 3 7 の位置（第 2 設定位置）まで移動される。

第 2 散乱体識別信号に対応してビーム軸 m 上に位置される第 2 散乱体 6 1 は、照射野径が大きい（例えば照射野径 $\phi = 3 5 0 \text{ mm}$ ）場合には第 2 散乱体 3 2 であり、照射野径が小さい（例えば照射野径 $\phi = 2 0 0 \text{ mm}$, $6 0 \text{ mm}$ ）場合には第 2 散乱体 3 6 である。

本実施形態は、実施形態 1 で生じる効果を得ることができる。本実施形態は、更に、第 2 散乱体装置を実施形態 1 よりもコンパクト化でき、照射野形成装置の構成を単純化できる。

【 0 0 7 6 】

本実施形態の粒子線照射装置に備えられた照射野形成装置 1 0 0 A においては、上述したように、照射野径が大きい（例えば照射野径 $\phi = 3 5 0 \text{ mm}$ ）場合には駆動制御装置 6 7 によりモータ 6 4 を駆動して第 2 散乱体装置 6 0 を上流側に移動させ、照射野径が小さい（例えば照射野径 $\phi = 2 0 0 \text{ mm}$, $6 0 \text{ mm}$ ）場合には第 2 散乱体装置 6 0 を下流側に移動させる。これにより、上記第 1 実施形態と同様、照射野径の大小に関係なく長飛程化と線量一様性とのバランスを考慮した最適な第 2 散乱体位置とすることができるので、形成可能な照射野径範囲全体にわたって、常に飛程が長く線量一様性が高い照射を実現することができる。さらに、第 1 散乱体装置 1 8 がイオンビーム進行方向に移動可能であることから、患部 K 内の放射線量分布をさらに一様にするすることができる。

実施形態 1 及び 2 において、荷電粒子ビーム加速装置としてシンクロトロンの替りにサイクロトロンを用いてもよい。

【 0 0 7 7 】

【発明の効果】

本発明によれば、どのような大きさの照射野でも体内における荷電粒子ビームの飛程を長くでき照射する線量をより一様にできる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

本発明の第 1 実施形態の粒子線照射装置に備えられる照射野形成装置の詳細構成を表す縦断面図である。

【図 2】

本発明の第 1 実施形態の粒子線照射装置の全体概略構成を表す図である。

【図 3】

図 1 における第 2 散乱体装置の設置テーブルの位置関係をイオンビーム進行方向上流側より見た図である。

【図 4】

図 1 における S O B P 形成装置の楔体の詳細構造を表す上面図である。

【図 5】

第 1 散乱体位置を固定した場合の第 1 散乱体－第 2 散乱体間距離に対する、（a）は到達飛程との関係を表す図、（b）は線量分布の一様性との関係を表す図である。

【図 6】

本発明の第 2 実施形態の粒子線照射装置に備えられる照射野形成装置の詳細構成を表す縦断面図である。

【図 7】

図 6 に示す第 2 散乱体装置、テーブル駆動装置及び第 2 散乱体移動装置の詳細縦断面図である。

【符号の説明】

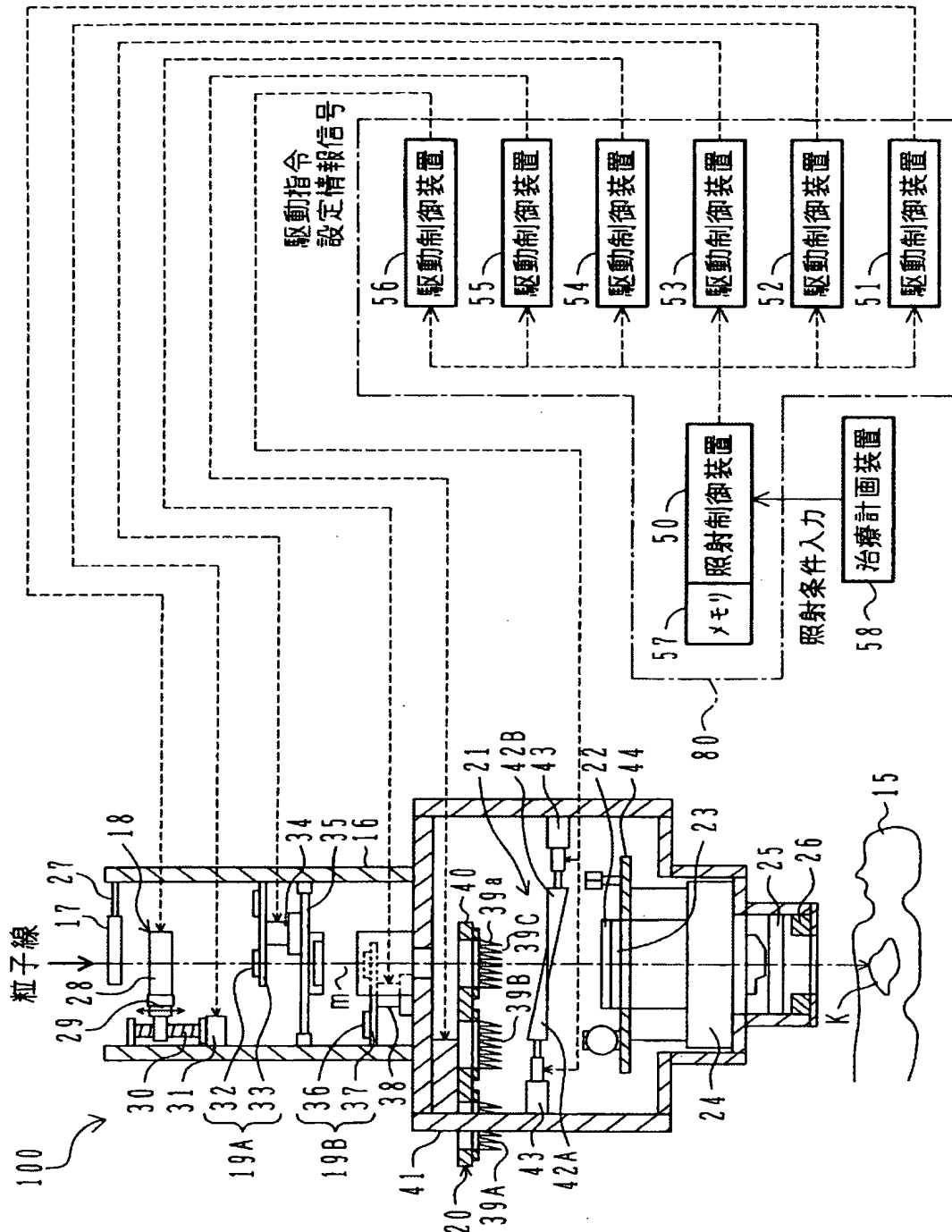
| | |
|--------------|-------------|
| 2 | 荷電粒子ビーム発生装置 |
| 1 8 | 第 1 散乱体装置 |
| 1 9 A, 1 9 B | 第 2 散乱体装置 |
| 2 8 | 第 1 散乱体 |

| | |
|-------|------------------------|
| 3 0 | ボールネジ（第 1 散乱体駆動装置） |
| 3 1 | モータ（第 1 散乱体駆動装置） |
| 3 2 | 第 2 散乱体（大照射野用散乱体） |
| 3 3 | テーブル（第 1 テーブル） |
| 3 4 | テーブル駆動装置（第 1 テーブル駆動装置） |
| 3 6 | 第 2 散乱体（小照射野用散乱体） |
| 3 7 | テーブル（第 2 テーブル） |
| 3 8 | テーブル駆動装置（第 2 テーブル駆動装置） |
| 5 2 | 駆動制御装置（第 1 散乱体駆動制御装置） |
| 5 3 | 駆動制御装置（テーブル駆動制御装置） |
| 5 4 | 駆動制御装置（テーブル駆動制御装置） |
| 6 0 | 第 2 散乱体装置 |
| 6 1 | 第 2 散乱体 |
| 6 4 | 第 2 散乱体移動装置 |
| 6 5 | ボールネジ（第 2 散乱体移動装置） |
| 6 7 | 駆動制御装置（第 2 散乱体駆動制御装置） |
| 6 8 | 支持筒部材 |
| 7 3 | 支持部材 |
| 7 4 | モータ（第 2 散乱体移動装置） |
| 7 6 | ナット部材（第 2 散乱体移動装置） |
| 1 0 0 | 照射野形成装置 |

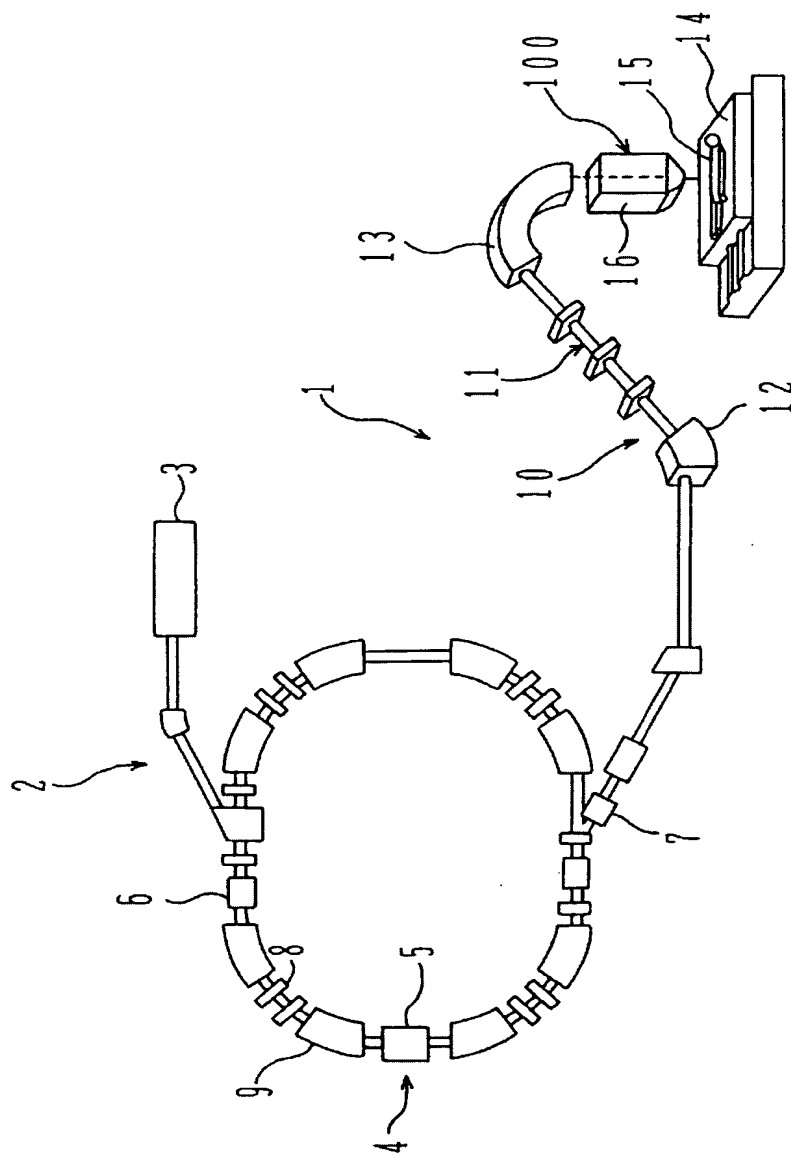
【書類名】

図面

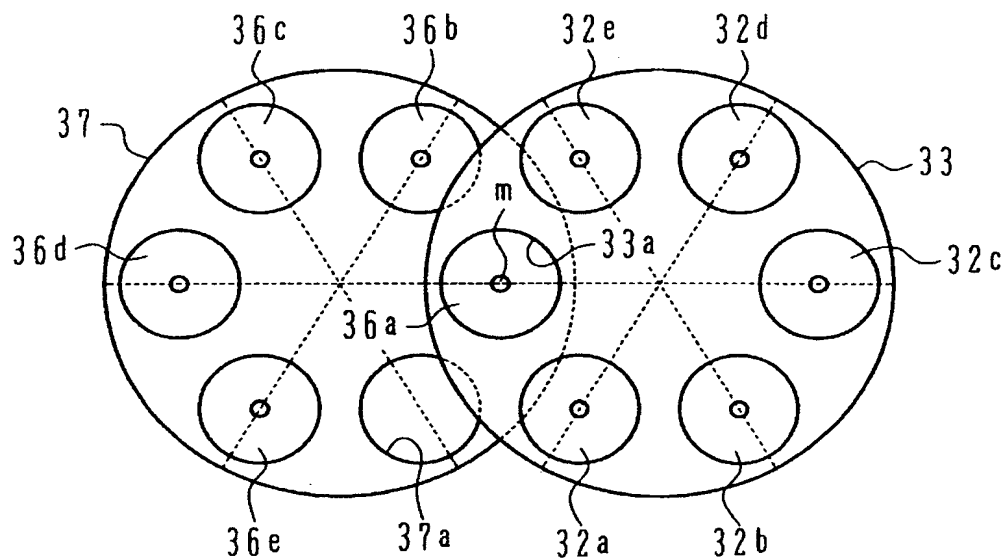
【図1】



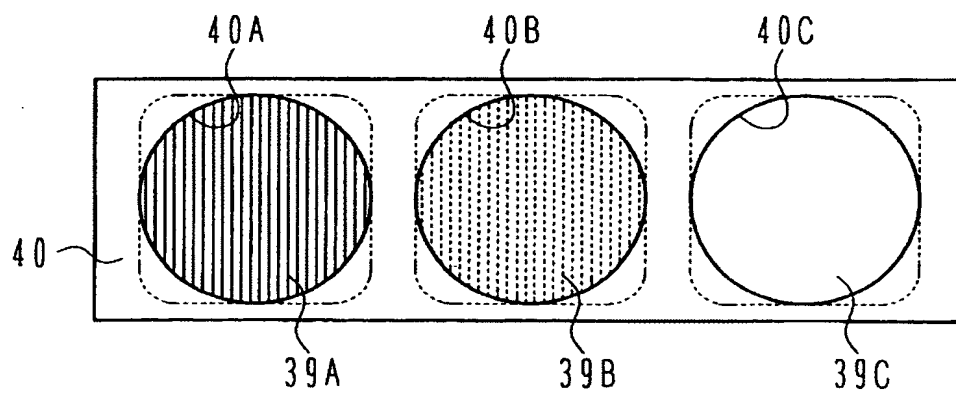
【図 2】



【図 3】

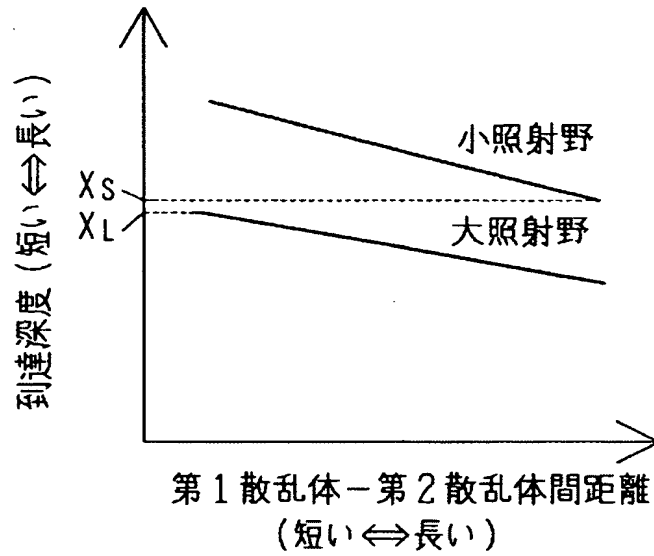


【図 4】

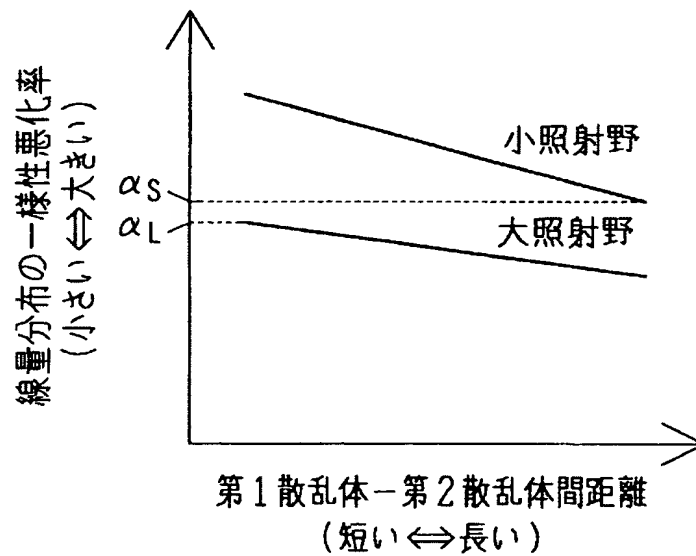


【図 5】

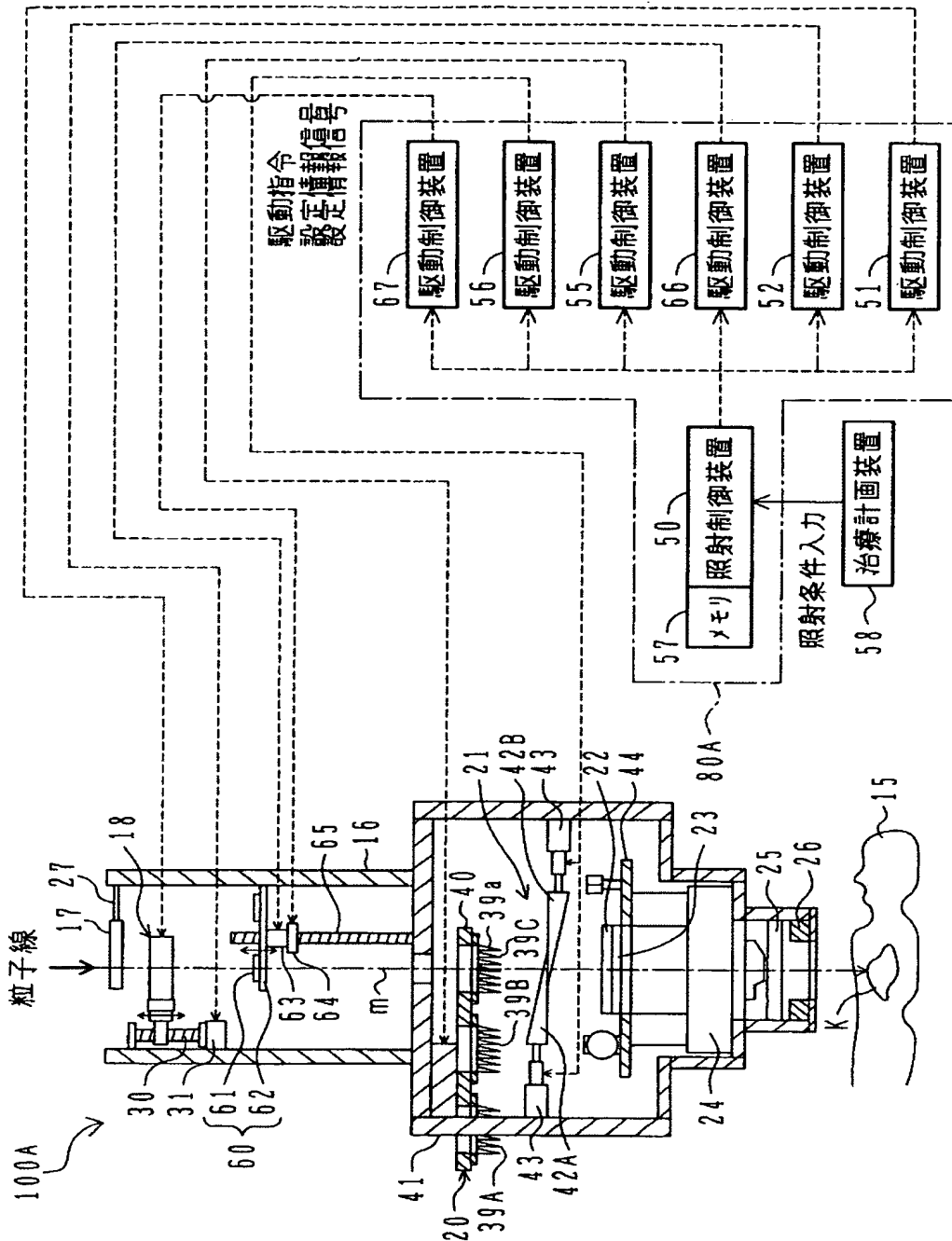
(a)



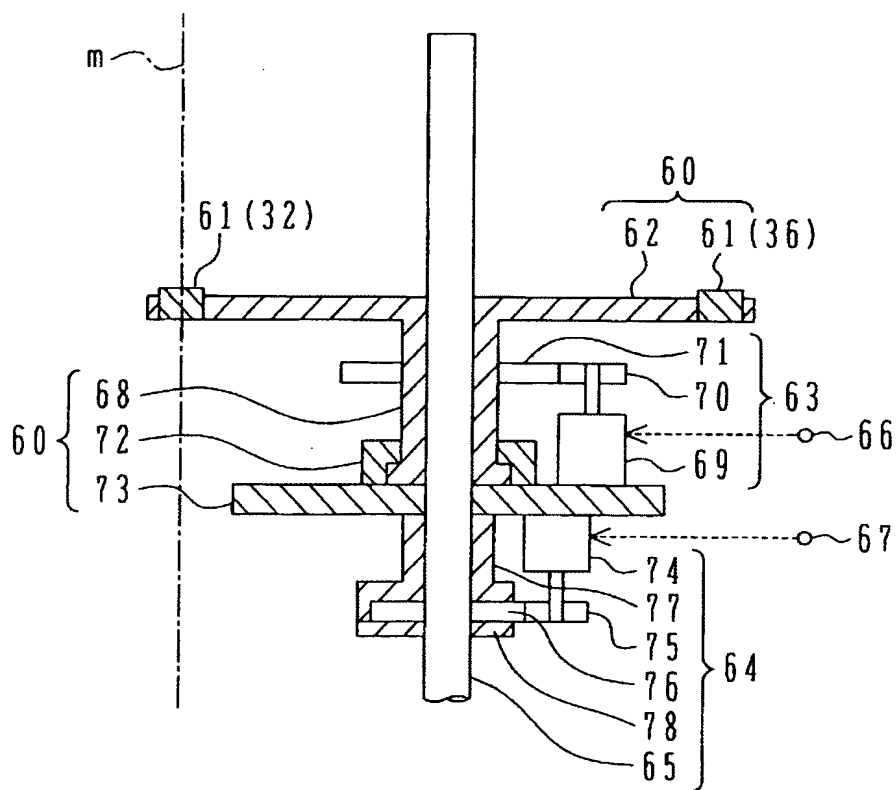
(b)



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 どのような大きさの照射野でも飛程を長くでき線量を一様にできる粒子線照射装置及び照射野形成装置の調整方法を提供する。

【解決手段】 荷電粒子ビーム発生装置 2 と、荷電粒子ビーム発生装置 2 から出射された荷電粒子ビームを照射対象に照射する照射野形成装置 100 とを備え、照射野形成装置 100 は、荷電粒子ビームを正規分布状に拡げる第 1 散乱体 28 を備える第 1 散乱体装置 18 と、第 1 散乱体 28 により正規分布状に拡がった荷電粒子ビームの強度分布を一様にする第 2 散乱体 32, 36 をそれぞれ備え、互いにサイズの異なる照射野をそれぞれ形成するために、荷電粒子ビーム進行方向に沿って第 1 散乱体装置 18 より下流側に上記照射野サイズの違いに応じた距離間隔をもって複数段設けられた第 2 散乱体装置 19A, 19B とを有する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

| | |
|---------|----------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2003-109062 |
| 受付番号 | 50300614608 |
| 書類名 | 特許願 |
| 担当官 | 雨宮 正明 7743 |
| 作成日 | 平成15年 4月15日 |

<認定情報・付加情報>

| | |
|----------|---|
| 【提出日】 | 平成15年 4月14日 |
| 【特許出願人】 | |
| 【識別番号】 | 000005108 |
| 【住所又は居所】 | 東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地 |
| 【氏名又は名称】 | 株式会社日立製作所 |
| 【代理人】 | |
| 【識別番号】 | 100077816 |
| 【住所又は居所】 | 東京都中央区日本橋小伝馬町 1-3 共同ビル（ 新小伝馬町） 7 階 開知国際特許事務所 |
| 【氏名又は名称】 | 春日 讓 |
| 【復代理人】 | 申請人 |
| 【識別番号】 | 100104503 |
| 【住所又は居所】 | 東京都中央区日本橋小伝馬町 1-3 共同ビル（ 新小伝馬町） 7 階 |
| 【氏名又は名称】 | 益田 博文 |

次頁無

特願 2 0 0 3 - 1 0 9 0 6 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 1 0 8]

| | |
|----------|------------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 0 年 8 月 3 1 日 |
| [変更理由] | 新規登録 |
| 住 所 | 東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地 |
| 氏 名 | 株式会社日立製作所 |